

# ВЛИЯНИЕ ДРОБНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ В ТИТАНОВОГО СПЛАВА

*Водолазский Ф.В., Сытьков М.А., Колосова Е.В.,*

*Кузьмин А.А., Соловьев А.В.*

*Руководитель – доц., к.т.н. Демаков С.Л.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург

vodolazski@bk.ru, tofm@mail.ustu.ru

Методами металлографии и анализом дифракции обратно-рассеянных электронов (ДОЭ-анализ) было проведено исследование листовых полуфабрикатов  $\beta$ -титанового сплава ТС6. Изучалось изменение характеристик зеренной структуры и металлографической, кристаллографической текстур.

В исходном горячедеформированном подкате толщиной 20 мм, наблюдалась неоднородная рекристаллизовано-полигонизованная структура, в которой присутствовали длинные, вытянутые вдоль направления прокатки, нерекристаллизованные зерна, в литературе за ними закрепилось название *полосы* [1]. Известно, и наблюдалось в данной работе, что такие *полосы* сохраняются при последующих обработках и являются причиной анизотропии механических свойств конечного полуфабриката. В работах [2, 3] было показано, что образование и сохранение *полос* связано проявлением текстурного торможения рекристаллизации. В работе ставилась задача определить режимы обработки, способствующие удалению *полос* за счет проведения отжига и горячей деформации.

Установлено, что температура отжига при котором за счет рекристаллизации происходит ликвидация *полос* составляет 950 °С, но образование крупного зерна делает бессмысленным такой тип обработки.

Горячая прокатка исходного полуфабриката при температуре 850 °С с суммарной степенью 50 % приводит к усилению *полосчатости* в структуре. Острота текстуры еще более возрастает. Что в итоге приводит к отрицательному эффекту – дополнительной стабилизации *полос*. С точки зрения термодинамического подхода к анализу зависимости рекристаллизации от степени горячей деформации можно предложить следующую объяснение этого эффекта, рис. 1.

Перед деформацией в структуре присутствуют два типа зерен отличающихся внутренней энергией – *полосы* и рекристаллизованные зерна. Исходно *полосы* имеют повышенный уровень внутренней энергии, по сравнению с рекристаллизованными зернами. Однако в ходе деформации полоса накапливает энергию меньше. При малых степенях деформации рост внутренней энергии связан с разрушением полигональной структуры, дальнейший прирост энергии относительно

невелик вследствие благоприятной ориентации ее решетки по отношению к деформирующим напряжениям [4]. Начальный уровень внутренней энергии рекристаллизованных зерен меньше, чем у *полосы*, но в процессе деформации рост внутренней энергии происходит более интенсивно, чем в *полосе*. Причина этого – обратное явление связанное с ориентацией решетки рекристаллизованных зерен по отношению к деформирующим напряжениям, которое является случайным. Соответственно две кривые изменения внутренней энергии должны пересекаться в некоторой точке, рис. 1. Относительно этой точки можно выделить две области. В первой области (на рис. 1 помечена I) внутренняя энергия полосы превышает внутреннюю энергию исходно рекристаллизованных зерен, поэтому рост вновь образованных зародышей рекристаллизации выгоден в сторону полосы с точки зрения термодинамики. Во второй области (на рис. 1 помечена II) внутренняя энергия исходно рекристаллизованных зерен превышает внутреннюю энергию *полосы*, поэтому рост вновь образованных зародышей рекристаллизации становится менее выгодным в сторону полосы. Другими словами сама полоса является местом образования зародышей рост которых происходит в сторону рекристаллизованных зерен. Вышеописанная ситуация продемонстрирована на рис. 2, с помощью инструментальной ДОО методики, программный пакет HKL Channel 5, где показан относительный уровень внутренних напряжений до и после деформации. Если до деформации уровень внутренней энергии рекристаллизованных зерен (светло-серый цвет) меньше внутренней энергии полосы (помечены серым цветом), рис. 2, а, б. Случай области II показан на рис. 2, в, г, когда после деформации уровень внутренней энергии исходно рекристаллизованных зерен (помечены темно-серым цветом) оказывается выше, чем в полосе (помечена серым цветом).

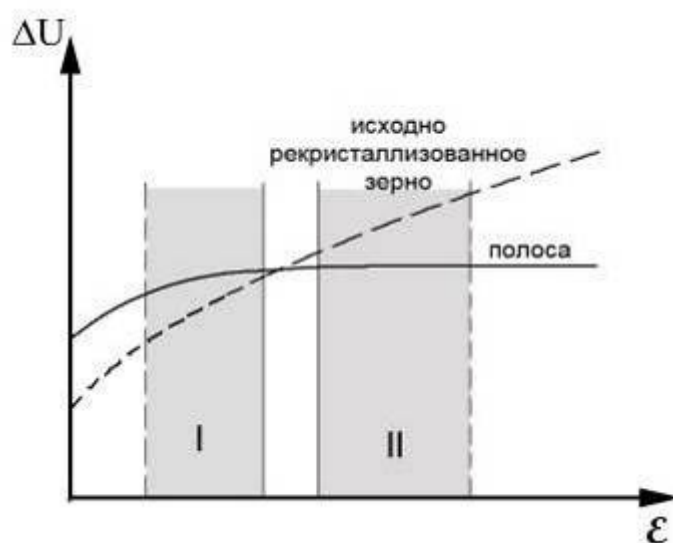


Рисунок 1. Принципиальная зависимость изменения внутренней энергии от степени деформации

В связи с этим был предложен комбинированный подход к ликвидации *полос* в структуре – прокатка при пониженных температурах (800 °С), ограничение степени обжатия за проход и введение прерываний прокатки. Относительно небольшие степени деформации нарушают стабильность плоского фронта роста рекристаллизованных зерен, что обеспечивает дальнейший рост рекристаллизованных зерен.

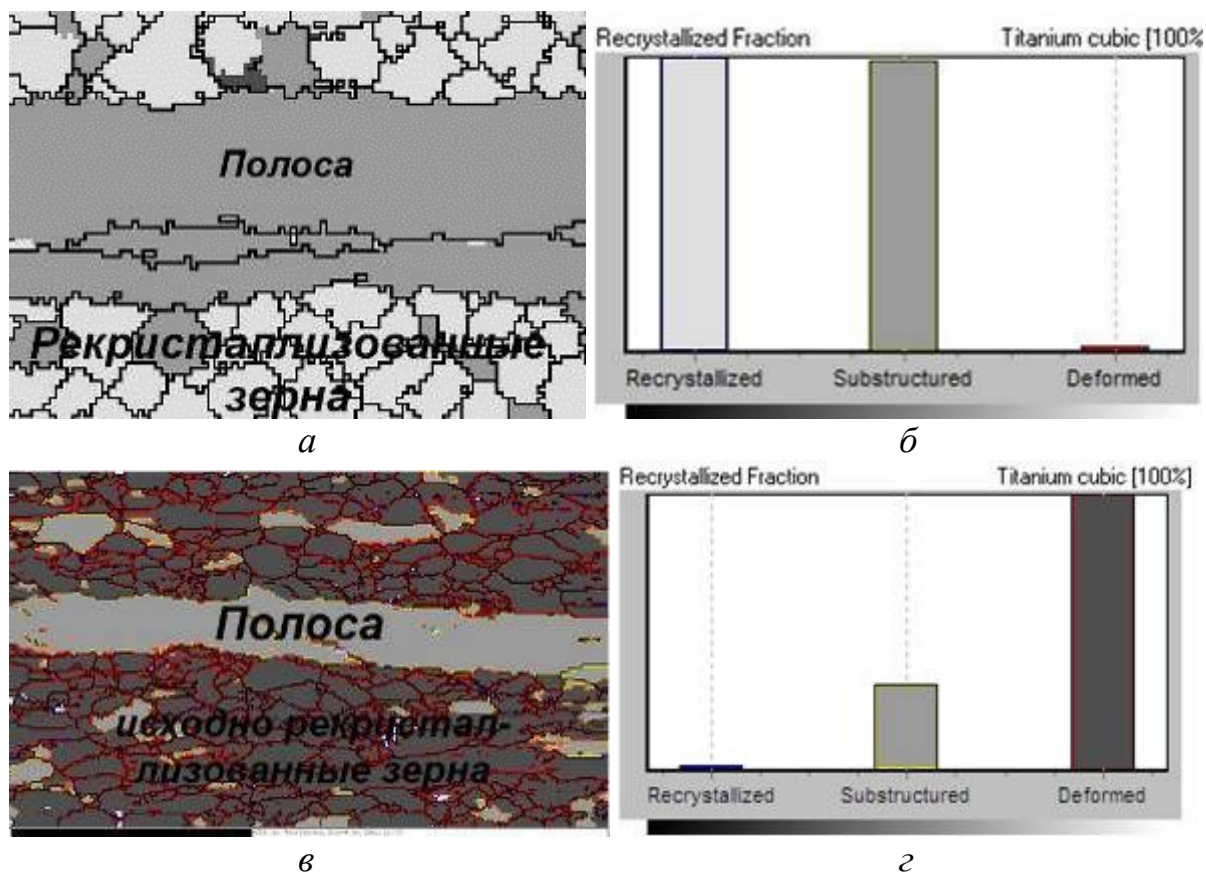


Рисунок 2. ДОО карты, показывающие деформированные, полигонизованные и рекристаллизованные области:  
а, б – до деформации; в, г – после деформации

Показано, что с помощью ДОО методики, программного пакета NKL Channel 5, можно проводить оценку уровня внутренней энергии зерен.

#### Библиографический список

1. Гордиенко А.И., Шипко А.А. Структурные и фазовые превращения в титановых сплавах при быстром нагреве. Минск.: Наука и техника, 1983. 336 с.
2. Демаков С.Л., Водолазский Ф.В., Карабаналов М.С./ ДОО-исследование листовых полуфабрикатов титанового сплава// Уральская школа семинар металлосведов молодых ученых: Сборник трудов, Екатеринбург: изд-во УГТУ-УПИ, 2008. с. 121...123.
3. Демаков С.Л., Водолазский Ф.В., Сытьков М.А./ Рекристаллизация горячедеформированного листа из сплава ТС6// XX-ая Уральская школа металлосведов-термистов «Актуальные проблемы физического металлосведения сталей и сплавов», Сборник материалов, Екатеринбург: изд-во УГТУ-УПИ, 2010. С. 147.
4. Nakamichi H., Humphreys F. J., Brough I. Recrystallization phenomena in an IF steel observed by in situ EBSD experiments // J. of microscopy, 2008. V. 230 (Pt. 3). P. 464-471.